

## **EVIDENCE**

CN1281906

# High strength, high tenacity, corrosion-resistant for the mooring cable steel and production technology

The invention belongs to the iron base alloy steel, involves R4 level ocean mooring cable (OFFSHORE MOORINGCHAIN) with design of alloy steel steel grade and production technology.

In recent years, along with the Shen Ru development of marine resources development, ocean facilities such as especially deep sea oil recovery, seafari, national defense construction need use a large amount of mooring cables, because the ocean especially abominable operation environment in deep sea and the maximization of ocean facility, have proposed more harsh requirement to the combination property of steel for the mooring cable, not only require the intensity height, and toughness is good, and the in light weight still requires sea water resistance corruption, antifatigue, stand wear and tear and good welding performance and better weld bond low-temperature impact toughness. Make the length 100m-2000m that mooring cable rod diameter generally is  $\phi$  70mm-  $\phi$  160mm, whole piece chain. The tensile strength of level Four mooring cable requires to be greater than 860 MPa, and the yield strength requires to be greater than 580MPa, and the internal marine tertiary anchor chain steel of producing can not satisfy above ocean mooring cable performance requirement far away at present. Consequently, especially the research and the production of R4 level ocean steel for the mooring cable seem particularly important and urgent to the ocean mooring cable. Internal to R4 level ocean for the mooring cable steel once did some researchs, like " metal heat treatmet " 1990 the 9th phases " the fracture toughness of level Four anchor chain steel ", " metal heat treatmet journal " the 12nd roll of the 4th phase " the ductile fracture toughness of level Four anchor chain steel and the somatotype of break surface " in 1991, " hot work technology " the 5th phase in 1991 " the mechanical behavior of novel level Four anchor chain steel ", " special steel " 1992 the 2nd phases " ocean platform anchor chain steel 30MnCrV's development and application ". Some steel grades that are used for R4 level mooring cable have all been reported to these documents, because the heat treatment sensitiveness of these steel grades is strong, the welding performance is poor, the mechanical behavior of welding seam department is on the low side, are hard to satisfy the requirement of system chain technology, consequently only are limited to the trial-production of the short run in laboratory, and do not change the big production of industry

over to, and this product still belongs to blankly at home so far.

The contrast circumstances of the steel grade of internal several level Four mooring cable steel grades report and the invention as follows.

Invention steel grade contrasts with the composition (%) of contrast steel grade

The element	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	Al	Nb	Sn	Sb	As	B
The Invention	0.28	0.27	1.58	1.00	1.12	0.58	0.014	0.006	0.029	0.04	0.02	0.008	0.03	0.003
Contrast steel 1	0.26	0.31	1.64	1.04		0.47	0.009	0.008	25					
Contrast steel 2	0.205	0.695	1.50	0.78	0.79	0.44	0.020	0.005	0.070					
Contrast steel 3	0.22	0.67	1.49	0.84	0.80	0.50	0.022	0.005	0.075	0.028				

In the system chain process engineering of mooring cable, the long chain of kilometer is made through the flash welding carried forward to the rod, and is whole

The strip chain is again through the quenching and tempering Technology for Heating Processing of quenchings + tempering. and very easily producing with welding seam department on its surface to large-scale chain and quenching and the tempering crack defect, in case produce such defect, wherein have the chain link of crackle must get from the whole chain and make again, this will increase the energy consumption by a wide margin, reduce production efficiency, and the welding seam was located the scaling loss of principal element (like C, Si, Mn etc.) and was piled up owing to in the welding process while, will reduce the mechanical behavior that the welding seam was located. Through the optimal design of composition, the heat treatment sensitiveness of reduction steel grade improves the partial mechanical behavior of weld bond, is the key of this steel grade design.

Consequently, the objective of the invention is to, solve the above-mentioned problem that exists in the prior art, provide high strength, high tenacity, corrosion resistant for the mooring cable steel and production technology.

The invention relates to particularly,:

A high strength, high tenacity, corrosion resistant for mooring cable steel, Characterized in:

contain (weight %) C:0.25%-0.33%, Si:0.15%-0.30%, Mn:1.45%-1.75%, Cr:0.90%-1.40%, Ni:1.00%-1.20%, Mo:0.45%-0.65%, Nb:0.02%-0.06%, Al:0.020%-0.050%, remaining and harmful element P:  $\leq 0.020\%$ , S:  $\leq 0.015\%$ , Cu:  $\leq 0.20\%$ , Sn  $\leq 0.03\%$ , Sb:  $\leq 0.01\%$ , As:  $\leq 0.04\%$ , B:  $\leq 0.005\%$ , [ N ]:  $\leq 0.009\%$ , [ O ]:  $\leq 0.0020\%$ , All the other are Fe.

Foretell high strength, high tenacity, corrosion resistant for mooring cable steel characterized in that the carbon equivalent must be greater than 1.40, promptly carbon equivalent  $Ce = C (\%) + \frac{1}{3}Cr (\%) + \frac{1}{3}Mn (\%) + \frac{2}{3}Mo (\%)$ .

Now, elaboration invention high strength, high tenacity, corrosion resistant for the mooring cable limited reason of steel chemical composition.

C: carbon can improve the intensity of steel, can improve the quenching degree of steel simultaneously again. Be less than 0.25%, the mechanical behavior of welding seam department does not reach the strength requirement of level Four mooring cable, is higher than 0.33%, and in quenching technology, the mother metal easily produces the quench crack, and the remaining carbon of flash butt welding part increases, will reduce the impact flexibility of welding seam department. Consequently, 0.25-0.33% is confirmed as to the carbon content.

Si: silicon can improve the intensity and the quenching degree of steel, its minimum content is 0.15%, just can reach its effect, but the silicone content too high especially when its during with the coexistence of manganese, chromium element, silicon makes the austenite crystal allgatoring in being dissolved in the austenite admittedly, increases the temper brittleness of a mistake heat sensitivity steel of steel. Simultaneously because silicon is easy in the oxidation, silicate is mingled with in the steel existence will reduce the impact flexibility of steel. The silicone content of contrast steel 2, contrast steel 3 is higher, and this is that the impact flexibility of chain welding seam department is low, produces to quench or the main cause of tempering crack in the modifier treatment process. The Si content upper limit of invention steel grade is 0.30%.

Mn: as improving intensity and toughness improves the quenching degree of steel and adds, but the too high tendency that easily produces the steel grain coarsening of manganese content, and has increased the sensitiveness of the temper brittleness of steel, when manganese content above 1.75% o'clock, easily produce the quench crack, so 1.45-1.75% is confirmed as to manganese content scope.

Cr: chromium is the principal element that improves the anti seawater corrosion ability of

mooring cable steel, chromium can suppress and fall low-carbon diffusion velocity simultaneously, reduces the scaling loss of steel carbon when the welding, improves the mechanical behavior of welding seam department. Chromium improves the effect of the quenching degree and the temper resistance of steel in addition. Consequently chromium should not be less than 0.90%, and the oxide that higher chromium content formed is mingled with and is detained in welding seam department, will reduce the impact flexibility of steel, and the chromium upper limit confirms as 1.40%. Contrast steel 2,3 chromium content of contrast steel are on the low side, and for invention steel grade, its temper resistance, quenching degree are lower, and the comprehensive mechanical behavior of its welding seam department is this steel grade too late.

Mo: the molybdenum can improve the quenching degree of steel, prevents temper brittleness, can obviously improve the quenching characteristics of steel welding seam department, reduce the quench crack, improve the impact flexibility of welding seam department. Surpass at 0.65% o'clock when molybdenum content, the effect of improving the performance will no longer increase. The molybdenum element also is one of element of the decay resistance of conduct improvement steel simultaneously.

Ni: nickel can improve the intensity of steel, reduces the black brittleness transition temperature of steel, the fatigue resistance of the improvement steel that does can and reduce the sensitiveness to the breach, can obviously improve the mother metal of chain and the low-temperature impact toughness of welding seam department, and while nickel element also is as one of element of the decay resistance of improvement steel. Nevertheless content is too high, and not only the incremental cost becomes rich nickel and is difficult for the oxidation owing to the subcutaneous metal base of oxidation in addition, thereby results in the cinder adhesion, forms the cinder that is difficult for coming off, appears " misrun " phenomenon in the technology preparation of welding burring. 1.00-1.20% is confirmed as to this steel grade content scope. Nickel is regarded as residual elements to contrast steel 1, and rather than adding as the alloying element, for invention steel grade, the comprehensive mechanical behavior of the mother metal of its chain link and welding seam department and decay resistance are not as good as invention steel grade.

Nb: the niobium is added as refining crystalline grain element and precipitation strength element, to gas content in the reduction steel and to improve the low-temperature impact toughness effect of steel obvious. Surpass at 0.06% o'clock when its content, it improves

the effect and no longer increases. The effect of niobium carbon in with fixed steel simultaneously, thus the performance of the anti intercrystalline corrosion of steel improved. Do not add this element in the contrast steel 1, contrast steel 2, for invention steel grade, the comprehensive mechanical behavior of the mother metal of its chain link and welding seam department and decay resistance be invention steel grade too late.

Al: aluminium is similar with the reacting phase of niobium, and mainly gaseous oxygen in refining crystalline grain and reducing the steel, nitrogen content, with the comprehensive mechanical behavior that improves chain mother metal and welding seam department. Aluminium surpasses at 0.050% o'clock, and the oxide of aluminium is mingled with the increase, will worsen the impact flexibility of steel. The aluminium content of contrast steel 2, contrast steel 3 is higher than 0.050%, easily results in the increase that the aluminium oxide is mingled with in the welding procedure. For invention steel grade, the comprehensive mechanical behavior of the mother metal of its chain link and welding seam department and decay resistance are not as good as invention steel grade.

Residual elements Sn, Sb, As, Cu, B, P, S: people verify through a large amount of experimental studies, P, As, Sn, Sb gather partially at the intergranular and lead to the fact the grain boundary embrittlement, are that the production tempering is fragile, especially the fragile primary factor of high tempering. Add AS, Sn, when P surpasses certain content, still will reduce the low-temperature impact toughness of steel when residual elements content, improve the brittle transition temperature of steel, worsen the comprehensive mechanical behavior of steel. Invention steel grade is with residual elements control at:  $\text{Sn} \leq 0.03\%$ ,  $\text{Sb} \leq 0.01\%$ ,  $\text{As} \leq 0.04\%$ ,  $\text{Cu} \leq 0.20\%$ ,  $\text{P} \leq 0.02\%$ ,  $\text{S} \leq 0.015\%$ . B has the temper brittleness that increases the steel and makes the austenite crystal tendency of growing up, consequently controls B within  $\leq 0.005\%$ , and its influence to heat treatment sensitiveness can be ignored. It does not have the narration to contrast steel 1, to contrast steel 2, to contrast steel 3. Invention steel grade has more the advantage.

O: under the lower temperature, intensity and plasticity sharply reduce along with the increase of oxygen content. The oxygen content is also influential to impact flexibility, and along with the increase of oxygen content, the maximum value of impact value reduces gradually, and the brittle transition temperature also rises very fast, and the scope of brittle transition temperature is also along with the widen. The invention and production technology can be with oxygen content control within 0.0020% (20ppm). It does not have

the narration to contrast steel 1, to contrast steel 2, to contrast steel 3. Invention steel grade has more the advantage.

N: though remaining nitrogen content is few in the steel can produce remarkable influence to the mechanical behavior of steel. Nitrogen enables the steel and produces the strain-aging phenomenon, and intensity and hardness improve promptly, and toughness reduces, and the notch sensitivity increases,

The nitrogen content is high more, and the fragility tendency that is resulted in by the nitrogen content is just more obvious. The invention and production technology can be with nitrogen content control within 0.0090% (90ppm). It does not have the narration to contrast steel 1, to contrast steel 2, to contrast steel 3. Invention steel grade has more the advantage.

Steel for the mooring cable according to invention production can obtain higher intensity, lower yield tensile ratio, therefore has excellent low-temperature impact toughness. The trier is taken a sample after whole modifier treatment, records yield strength  $\sigma_s = 830$ -860MPa, tensile strength  $\sigma_b = 900$ -1070MPa, percentage elongation  $\delta_5 = 16$ -21%, percentage reduction of area  $\psi = 65$ -70%; Ballistic work (V type breach) under -20 DEG Cs is 110-150J.

The production technology of following explanation invention steel:

(1), the electric stove is smelted, smelts in 100t ultra high power direct current electric arc furnace, adds the steel scrap and the pig iron, realizes pre-deoxidation and composition

initial setting;

(2), LF is concise, carries out the composition fine setting in the 100tLF refining furnace;

(3), VD is concise, adopts the 100tVD stove to realize the vacuum outgas, guarantees  $[H] \leq 0.0002\%$ ;

(4), continuous casting adopts 5 classes of continuous casters of 12 meters radiuses, and the direct casting becomes the 300mm square billet;

(5), tandem rolling, through 16 frame continuous rolling mill trains, rolling one-tenth mooring cable rod;

The Non-Destructive Testing is adopted the supersound to involve eddy current testing equipment group and is carried out the surface of rolled piece and the inspection of internal soundness.

#### Embodiment 1

C:0.28%, Si:0.27%, Mn:1.58%, Cr:1.00%, Ni:1.12%, Mo:0.58%, Al:0.029%, Nb:0.04%, P:0.014%, S:0.006%, Cu:0.12%, Sn:0.02%, Sb:0.008%, As:0.02%, B:0.003%,  $[N]$ : 0.0056%,  $[O]$ : 0.0015%,  $[H]$ : 0.00015%.

The rod is through bulk heat treatment (890 DEG Cs quench 600 DEG Cs of tempering), the back sample, gained mechanical behavior as follows:

$\sigma_s = 850\text{MPa}$ , tensile strength  $\sigma_b = 980\text{MPa}$ , percentage elongation  $\sigma_5 = 18\%$ , percentage reduction of area  $\Psi = 67\%$ ; Ballistic work (V type breach) under -20 DEG Cs is 145J.

#### Embodiment 2

C:0.30%, Si:0.28%, Mn:1.52%, Cr:1.20%, Ni:1.15%, Mo:0.58%, Al:0.032%, Nb:0.035%, P:0.015%, S:0.008%, Cu:0.12%, Sn:0.02%, Sb:0.008%, As:0.02%, B:0.003%,  $[N]$ : 0.0062%,  $[O]$ : 0.0016%,  $[H]$ : 0.00014%.

The rod is through bulk heat treatment (890 DEG Cs quench 600 DEG Cs of tempering), the back sample, gained mechanical behavior as follows:

$\sigma_s = 830\text{MPa}$ , tensile strength  $\sigma_b = 960\text{MPa}$ , percentage elongation  $\sigma_5 = 19\%$ , percentage reduction of area  $\psi = 65\%$ ; Ballistic work (V type breach) under -20 DEG Cs is 142J.

#### Embodiment 3

C:0.26%, Si:0.25%, Mn:1.52%, Cr:0.95%, Ni:1.15%, Mo:0.58%, Al:0.025%, Nb:0.045%, P:0.015%, S:0.008%, Cu:0.12%, Sn:0.02%, Sb:0.008%, As:0.02%, B:0.003%,  $[N]$ : 0.0060%,  $[O]$ : 0.0015%,  $[H]$ : 0.00012%.



The rod is through bulk heat treatment (890 DEG C quench 600 DEG C of tempering), the back sample, gained mechanical behavior as follows:

$\sigma_s = 840\text{MPa}$ , tensile strength  $\sigma_b = 995\text{MPa}$ , percentage elongation  $\sigma_5 = 17\%$ , percentage reduction of area  $\Psi = 62\%$ ; Ballistic work (V type breach) under - 20 DEG C is 135J.

The off-the-shelf mechanical behavior of anchor chain of mooring of illustrating with examples below, for the practical application effect of further explaining invention steel for the mooring cable and making with this steel grade.

The system chain technology of anchor chain product is: quenching temperature 870-920 DEG C, water-cooling to room temperature, 580-630 DEG C tempering, water-cooling to the room temperature that adopting the flash of light to preheat the special unit of butt welding and compiling the ring butt welding with the rod, the back is made to the chain, needs quench with the drawing temper in vertical continuous type quenching and tempering heat-treatment furnace. The ring back of the body and welding seam department at the chain link get tensilely and the impact specimen, and its inspecting result as follows.

The ring back of the body:  $\sigma_s = 830\text{MPa}$ , tensile strength  $\sigma_b = 917\text{MPa}$ , percentage elongation  $\sigma_5 = 22\%$ , percentage reduction of area  $\Psi = 67\%$ ; Ballistic work (V type breach) under - 20 DEG C is 141J.

Welding seam:  $\sigma_s = 825\text{MPa}$ , tensile strength  $\sigma_b = 913\text{MPa}$ , percentage elongation  $\sigma_5 = 17\%$ , percentage reduction of area  $\Psi = 58\%$ ; Ballistic work (V type breach) under - 20 DEG C is 105J.

Above mooring cable rod factory (prevailing clear iron company) and mooring cable production factory (Zhenjiang anchor chain factory) are all approved through the mill of ABS (American Bureau of Shipping), DNV (Norske Veritas), LR (Lloyd's Register of Shipping) three classification society, and approval of acquisition mill and product approval certificate, and its mechanical behavior data are three above-mentioned measured datas that classification society's products are approved.

## CLAIMS

1. A high strength, high tenacity, corrosion resistant for mooring cable steel, Characterized in: contain (weight %) C:0.25%-0.33%, Si:0.15%-0.30%, Mn:1.45%-1.75%, Cr:0.90%-1.40%, Ni:1.00%-1.20%, Mo:0.45%-0.65%, Nb:0.02%-0.06%, Al:0.020%-0.050%, remaining and harmful element P:  $\leq 0.020\%$ , S:  $\leq 0.015\%$ , Cu:  $\leq 0.20\%$ , Sn  $\leq 0.03\%$ , Sb:  $\leq 0.01\%$ , As:  $\leq 0.04\%$ , B:  $\leq 0.005\%$ , [ N ]:  $\leq 0.009\%$ , [ O ]:  $\leq 0.0020\%$ , All the other are Fe.

2. The said high strength of claim 1, high tenacity, corrosion resistant for mooring cable steel characterized in that the carbon equivalent must be greater than 1.40, promptly carbon equivalent  $Ce = C (\%) + 1/3Cr (\%) + 1/3Mn (\%) + 2/3Mo (\%)$ .

3. The said high strength of claim 1 or 2, high tenacity, corrosion resistant for the mooring cable production technology of steel characterized in that this technology includes:

(1), the electric stove is smelted, smelts in 100t ultra high power direct current electric arc furnace, adds the steel scrap and the pig iron, realizes pre-deoxidation and composition initial setting;

(2), LF is concise, carries out the composition fine setting in the 100tLF refining furnace;

(3), VD is concise, adopts the 100tVD stove to realize the vacuum outgas, guarantees [ H ]  $\leq 0.0002\%$ ;

(4), continuous casting adopts 5 classes of conticasters of 12 meters radiuses, and the direct casting becomes the 300mm square billet;

(5), tandem rolling, through 16 frame continuous rolling mill trains, rolling one-tenth mooring cable rod;

(6), Non-Destructive Testing is adopted the supersound to involve eddy current testing equipment group and is carried out the surface of rolled piece and the inspection of internal soundness.

## 4.6 Alloying elements in the steel

In no other material can the properties be changed to such a great extent by alloying as in steel. The alloyed steel, apart from iron and carbon, generally contains a *plurality of alloying elements*. The property changes which have occurred can therefore only be given in a very general form. Precise predictions are also generally not possible because the effect of the alloying elements is *not additive*.

Alloying elements are added to the steel in precise quantities in order to produce or improve certain properties or to eliminate or alleviate undesired ones. Types of steel are considered to be alloyed when the alloying content for at least one element reaches or exceeds the limit values of Table 183. The undesired additions (impurities) such as, for example, carbon, phosphorus, sulphur, nitrogen and the elements required for the deoxidisation accordingly are not considered to be alloying elements.

For practical considerations, the alloyed steels are divided into low alloyed ones (sum of the alloying elements < 5 %) and high alloyed ones (> 5 %). **Low alloyed steels**, in principle, have *similar properties to unalloyed ones*. *Their technically most important property is the considerably improved hardenability* (see page 172), but also other technically significant material improvements are achieved:

- *heat resistance*, for example by adding molybdenum. The heat-resistant steels which are still stable at high temperatures are produced.
- *good tempering properties* are substantially improved by the great thermal and chemical resistance of the carbides of the alloying elements.

## 4.6 Alloying elements in the steel

In no other material can the properties be changed to such a great extent by alloying as in steel. The alloyed steel, apart from iron and carbon, generally contains a *plurality of alloying elements*. Because of the complex interactions between the alloying elements and their non-additive effect, the property changes which have occurred can therefore only be given in very general form.

Alloying elements are added to the steel in precise quantities in order to produce or improve certain properties or to eliminate or alleviate undesired ones. Types of steel are considered to be alloyed when the alloying content for at least one element reaches or exceeds the limit values of Table 4.10. The undesired additions (impurities) such as, for example, carbon, phosphorus, sulphur, nitrogen and the elements required for the deoxidisation accordingly are not considered to be alloying elements.

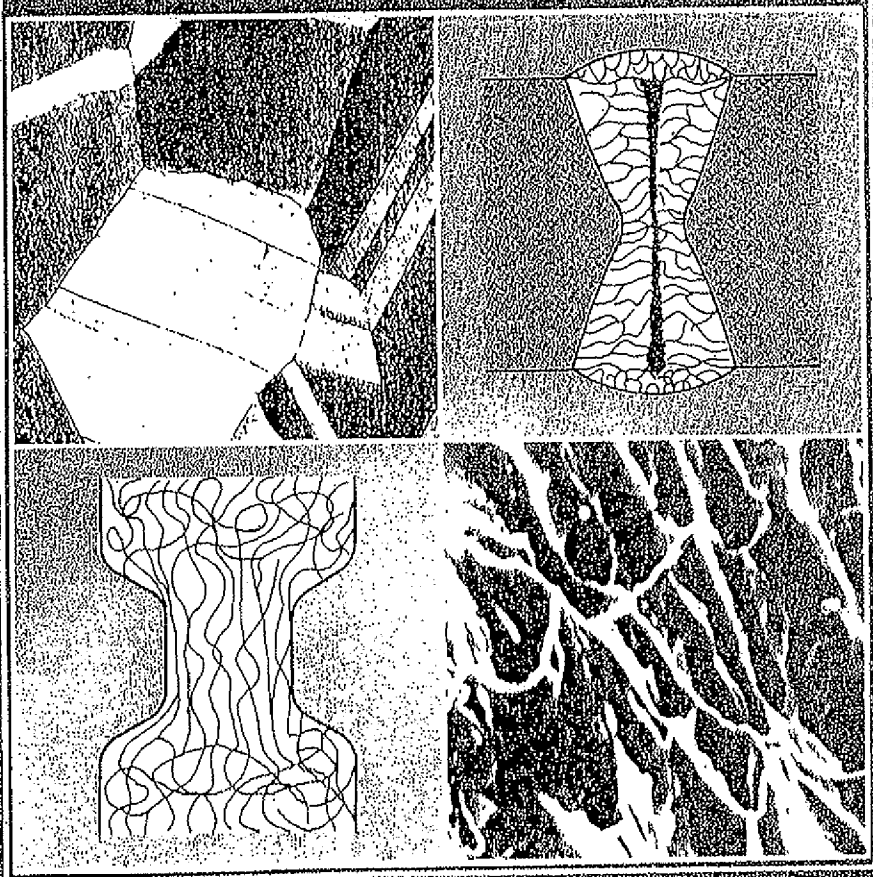
Table 4.10: Relevant levels of the alloying elements according to DIN EN 10020 for dividing unalloyed from alloyed steel

<b>Alloying element</b>	<b>Limit value in % mass</b>
Aluminium	0.10
Bismuth	0.10
Lead	0.40
Boron	0.0008
Chromium	0.30
Cobalt	0.30
Copper	0.40
Lanthanides (evaluated individually)	0.10
Manganese	1.65 <sup>1)</sup>
Molybdenum	0.08
Nickel	0.30
Niobium	0.06
Selenium	0.10
Silicon	0.60

Tellurium	0.10	
Titanium	0.05	
Vanadium	0.10	
Tungsten	0.30	
Zirconium	0.05	
Other (with the exception of carbon, phosphorus, sulphur and nitrogen) each		0.10

<sup>1)</sup> if for manganese only a maximum value is set, the limit is 1.80% and the 70% rule does not apply.  
This means that if, for the elements other than manganese, only a maximum value is set for the melt analysis in the product standard or specification, a value of 70% of this maximum value is to be used for the classification.

Bargel/Schulze  
**Werkstoffkunde**



**VDI-Verlag**

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Werkstoffkunde / Hans-Jürgen Bargel ...  
Hrsg. von Hans-Jürgen Bargel; Günter Schulze.  
3. Aufl. - Düsseldorf:  
VDI-Verlag, 1983  
ISBN 3-18-400595-X  
NB: Bargel, Hans-Jürgen (Hrsg.)

©VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1983

Alle Rechte vorbehalten.

Die Vervielfältigung und Übertragung auch einzelner Textabschnitte, Bilder oder Zeichnungen ist - mit Ausnahme der Vervielfältigung und eigenen Gebrauch gemäß §§ 53, 54 URG - ohne schriftliche Zustimmung des Verlages nicht zulässig. Das gilt sowohl für die Vervielfältigung durch Photokopie oder irgendein anderes Verfahren, als auch für die Übertragung auf Filme, Bänder, Platten, Arbeitstransparente oder andere Medien.

Printed in Germany

ISBN 3-18-400595-X

Satz: Alfred Utesch, Hamburg  
Druck: Hans Oeding, Braunschweig  
Zeichnungen: Regina Reichelt, Berlin  
Umschlag-Entwurf: Bernd Schirok, Hannover

## Vorwort zur dritten

Die vorliegende dritte Auflage vergriffen ist. Der Herausgeber dankt für die vielen Hinweise und Anregungen im Rahmen kleiner Korrekturen und Überarbeitungen des Gesamtwerkes. Sie danken sie dankend an.

Berlin, Juli 1983

## Vorwort zur ersten

Die Neuerscheinung „Werkstoffkunde“ und den Theorie hauptsächlich an Ingenieure.

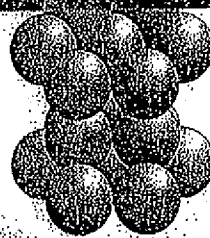
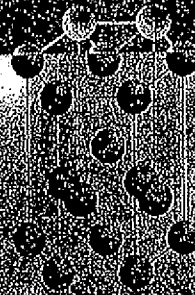
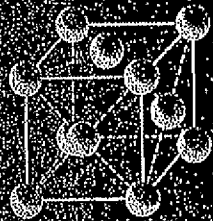
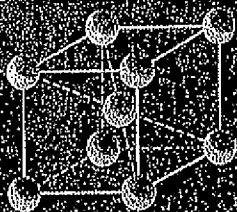
### Stoffauswahl

Die Werkstoffkunde ist die Lehre von den Eigenschaften der Werkstoffe. Die wissenschaftliche Literatur ist oft nur dem Fachmann zugänglich. In den Lehrbüchern häufig dargestellt. Es wird der Leser, der sich auswendig zu lernen so. Ziel dieses Buches ist es, die Praxis darzustellen. Der Leser, der das Verlangen hat, wenig grundlegende Vorhaben in der Beschreibungen in der Erscheinungen.

### Zum Inhalt

Der Inhalt einzelner Kapitel ist die Korrosion von Metallen. Die Bedeutung dieses Problems von einer ausgedehnten Wirkung der Aufklärung, prozesse einwirken. Die Herstellungsverfahren der Werkstoffe. In gleicher Art wurde die Abgrenzung zum Fachgebiet der Werkstoffkunde. Demgegenüber wurde die Bedeutung der Werkstoffkunde in der Fortentwicklung der Werkstoffkunde.

10., bearbeitete Auflage



VDI

Springer



#### Herausgeber

Prof. Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Bargel  
Berlin  
prof.bargel@web.de

Prof. Dr.-Ing. Günter Schulze  
Berlin  
dokschu@t-online.de

#### Autorenverzeichnis

Prof. Dipl.-Ing. Hans-J.  
Abschnitte 1.1, 1.2, 1.8  
Kapitel 3 und 8

Dr.-Ing. Hermann Hill  
Kapitel 5

Prof. Dr. phil. nat. Kar.  
Kapitel 6

Dr.-Ing. Oswald Krüg.  
Kapitel 7 (überarbeitet)

Prof. Dr.-Ing. Günter S.  
Abschnitte 1.3 bis 1.7,  
Kapitel 4

ISBN 978-3-540-79296-3

e-ISBN 978-3-540-79297-0

DOI 10.1007/978-3-540-79297-0

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2008 Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

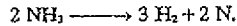
Satz: Digitale Vorlage der Autoren  
Herstellung: lo-tex publishing services oHG, Leipzig  
Einbandgestaltung: WMXDesign, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

9 8 7 6 5 4 3 2 1

springer.com

freiwerdende atomare Stickstoff in die Werkstoffoberfläche:



Das Verfahren wird bei 510 °C bis 550 °C durchgeführt, weil dann die optimalen, feinstdispersen Ausscheidungen entstehen. Die Folge der niedrigen Temperaturen sind sehr lange Nitrierzeiten: für eine Nitritiefe von 0,5 mm sind etwa 50 Stunden erforderlich. Üblicherweise werden die Teile vor dem Nitrieren vergütet, wodurch die Kerneigenschaften wesentlich verbessert werden und die Stickstoffaufnahme erleichtert wird. Durch die lange Nitrierdauer besteht allerdings die Gefahr einer unzulässigen Anlaßwirkung (Festigkeitsabfall) des Vergütungsgefüges. Das Salzbadnitrieren wird in Zyanbädern (CN) bei Temperaturen von 570 °C  $\pm$  10 °C durchgeführt, wobei stets eine geringe zusätzliche Aufkohlung über den Kohlenstoffgehalt des Zyanbades erfolgt. Die Nitrierzeiten sind wegen der schnellen Aufheizung erheblich kürzer: in 10 Stunden beträgt die Nitritiefe etwa 0,5 mm. Daher werden Werkzeuge oder andere Bauteile, bei denen ein bestimmter Vergütungszustand von wesentlicher Bedeutung ist, üblicherweise badnitriert. Der Festigkeitsabfall des vergüteten Kerns ist erheblich geringer als beim Gasnitrieren.

Werkzeuge aus Schnellarbeitsstahl erhalten durch das Badnitrieren bei einer Temperatur, die kleiner als deren Anlaßtemperatur ist, eine extrem harte Nitrierschicht von etwa 0,02 mm Dicke. Die Standzeit und die Anlaßbeständigkeit werden deutlich erhöht.

Gegenüber dem Einsatzhärten (850 HV bis 900 HV) ist die maximal erreichbare Randhärte wesentlich höher (bis 1200 HV). Die Verschleißfestigkeit ist erheblich besser, wegen der i. a. sehr dünnen Nitrierschicht sollten hohe Flächenpressungen aber vermieden werden. Ein vergüteter Kern ist daher für höhere mechanische Beanspruchungen zweckmäßig. Beim Nitrieren erfolgt keine Umwandlung. Das Werkstück muß also nicht abgeschreckt werden, und es bildet sich keine Rißbildung. Die Randhärte ist unabhängig vom Kohlenstoffgehalt des Werkstoffes. Ribbildung und Versprödung sind praktisch ausgeschlossen. Nitrierte Bauteile können deshalb in vielen Fällen ohne Nachbehandlung (Reinigen) verwendet werden. Die durch die Oberflächenhärte ergibt eine hervorragende Verschleißfestigkeit bis Betriebstemperaturen von etwa 400 °C bis 600 °C. Der hohe Verschleißwiderstand der Nitrierschicht verhindert

wirksam das Fressen zweier sich relativ zueinander bewegender Teile (Werkzeuge: Bohrer, Fräser, Drehstuhl u. ä.). Die dynamischen Festigkeitskennwerte und die Korrosionsbeständigkeit werden ebenfalls merklich verbessert. Schlagartige Beanspruchungen führen aber meistens zum Brechen der dünnen, spröden Schicht und verringern die Dauerfestigkeit entscheidend. Beim Nitrieren bereits vergüteter Stähle ist die Anlaßwirkung wegen der relativ niedrigen Behandlungstemperaturen gering.

#### 4.6 Legierungselemente im Stahl

An keinem anderen Werkstoff lassen sich die Eigenschaften durch Legieren in einem so großen Umfang ändern wie bei Stahl. Der legierte Stahl enthält außer Eisen und Kohlenstoff im allgemeinen mehrere *Legierungselemente*. Die eingetretene Eigenschaftsänderungen lassen sich daher nur in sehr allgemeiner Form angeben. Genaue Vorhersagen sind in der Regel auch deshalb nicht möglich, weil die Wirkung der Legierungselemente nicht additiv ist.

Legierungselemente werden dem Stahl in genau den Mengen zugesetzt, um bestimmte Eigenschaften zu erzeugen bzw. zu verbessern oder unerwünschte zu beseitigen oder zu mildern. Als legiert gelten Stahlsorten, wenn der Legierungsgehalt für wenigstens ein Element die Grenzwerte der Tab. 183 erreicht oder überschreitet. Die unerwünschten Beimengungen (Verunreinigungen) wie z. B. Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel, Stickstoff und die für das Desoxidieren erforderlichen Elemente gelten danach nicht als Legierungselemente.

Aus praktischen Erwägungen werden die legierten Stähle in niedriglegierte (Summe der Legierungselemente < 5 %) und hochlegierte (> 5 %) eingeteilt. *Niedriglegierte Stähle* haben prinzipiell ähnliche Eigenschaften wie unlegierte. Ihre technisch wichtigste Eigenschaft ist die wesentlich verbesserte Härtebarkeit (siehe S. 172), aber auch andere technisch bedeutsame Werkstoff-Verbesserungen werden erreicht:

- *Warmfestigkeit*, z. B. durch Zugabe von Molybdän. Es entstehen die auch bei hohen Temperaturen noch beständigen warmfesten Stähle.
- *Anlaßbeständigkeit* wird durch die große thermische und chemische Beständigkeit der Karbide der Legierungselemente wesentlich verbessert.

Tab. 183: Für die Abgrenzung legierten Stählen maßgebend NORM 20-74

Legierungselemente
Aluminium
Bor
Chrom
Kobalt
Kupfer
Lanthanide
Mangan
Molybdän
Nickel
Niob
Blei
Selen
Silizium
Tellur
Titan
Wismut
Wolfram
Vanadium
Zirkonium
Sonstige (mit Ausnahme von Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel, und Sauerstoff)

Dagegen werden hochlegierte Stähle, wenn *Sondereigenschaften* bei un- bzw. niedriglegierten Stählen in unzureichendem Maße erreichbar sind, als hochlegiert eingestuft. Die erreichbaren Festigkeitswerte sind von untergeordneter Bedeutung. Die Zunderbeständigkeit, Seignierglut oder besondere elektrische Eigenschaften (weich lassen sich nur durch Legieren erzeugen).

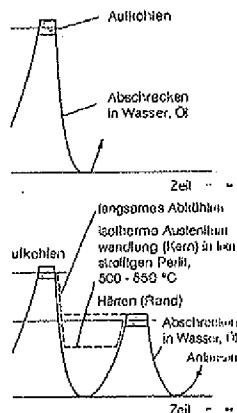
##### 4.6.1 Einteilung und allg.

**4.6.1.1 Mischkristall- und Löslichkeit der Legierung**  
Die Löslichkeit der Legierungselemente im Eisen wird vom Verhältnis des dem Atomaufbau der Legierung bestimmt (siehe S. 50). Die unterschiedlichen Formänderungen führen:

nitrieren im Ammoniakstrom) 0 °C freierwende atomare Rückoberfläche:

in 510 °C bis 550 °C durchgeführt, feinstdispersen Ausfällungen. Die Aufstückung in NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub> ze beschleunigt und durch gehemmt. Die Folge der sind sehr lange Nitrierzeiten tiefe von 0,5 mm sind etwa h. Der Gehalt an gelöstem Nitriden kann bis 0,4 % betragen. Die Dauer besteht allerdings in der Anlasswirkung (Festigkeitsgefüge). Üblicherweise wird ein Nitrieren vergütet, was wesentlich verbessert Aufnahme erleichtert wird.

nach das Gasnitrieren relativ nur noch in Sonderfällen in der Fertigung wird das carburieren eingesetzt, das und -temperaturen mit denen vergleichbar sind. Wenn Verfahrenzeiten wird ein Nitrieren bezeichnet.



h dem Aufkochen (schematisch) in von Einsatztemperatur unter Abkühlung bzw. isotherm

Das Salzbadnitrieren wird in Zyanbädern (CN) bei Temperaturen von 570 °C ± 10 °C durchgeführt, wobei stets eine geringe zusätzliche Aufkohlung über den Kohlenstoffgehalt des Zyanbades erfolgt. Es handelt sich hier also immer um ein Nitrocarburieren. Die Nitrierzeiten sind wegen der hohen Oberflächenaktivität des Salzades und wegen der schnellen Aufheizung erheblich kürzer: in 1 bis 2 Stunden beträgt die Nitrierhärte tiefe etwa 0,5 mm. Der Festigkeitsabfall eines vergüteten Kerns ist erheblich geringer als beim klassischen Gasnitrieren.

Werkzeuge aus Schnellarbeitsstahl erhalten durch das Badnitrieren bei einer Temperatur, die kleiner als deren Anlasser-temperatur ist, eine extrem harte Nitrierschicht mit einer Dicke von etwa 0,02 mm. Die Standzeit und die Anlassbeständigkeit des Werkzeugs werden deutlich erhöht.

Im Vergleich zum Einsatzhärten (Randhärte von 850 HV bis 900 HV) ist die maximal erreichbare Randhärte wesentlich größer (bis 1200 HV). Die Nitrierhärte tiefe NHT ist nach DIN 50190-3 der Abstand eines Punktes von der Oberfläche, dessen Härte um 50 HV über der Kernhärte liegt.

Die Verschleißfestigkeit ist erheblich besser, wegen der i. Allg. sehr dünnen Nitrierschicht sollten hohe Flächenpressungen aber vermieden werden. Ein vergüteter Kern ist daher für höhere mechanische Beanspruchungen zweckmäßig. Beim Nitrieren erfolgt keine Umwandlung. Das Werkstück muss also nicht abgeschreckt werden, und es bildet sich daher unabhängig vom Kohlenstoffgehalt des Werkstoffes kein Martensit. Rissbildung und Verzug sind praktisch ausgeschlossen. Nitrierte Bauteile können deshalb in vielen Fällen ohne Nachbearbeitung (Schleifen) verwendet werden. Die extreme Oberflächenhärte ergibt eine hervorragende Verschleißbeständigkeit bis Betriebstemperaturen von etwa 550 °C bis 600 °C. Der hohe Stickstoffgehalt der Nitrierschicht verhindert wirksam das Pressen zweier sich relativ zueinander bewegender Teile (Werkzeuge: Bohrer, Fräser, Drehstuhl u. ä.). Die dynamischen Festigkeitskennwerte und die Korrosionsbeständigkeit werden ebenfalls merklich verbessert. Schlagartige Beanspruchungen führen aber meistens zum Brechen der dünnen, spröden Schicht und verringern die Dauerfestigkeit entscheidend.

Beim Nitrieren bereits vergüteter Stähle ist die Anlasswirkung wegen der verhältnismäßig niedrigen Behandlungstemperaturen gering.

## 4.6 Legierungselemente im Stahl

An keinem anderen Werkstoff lassen sich die Eigenschaften durch Legieren in einem so großen Umfang ändern wie bei Stahl. Der legierte Stahl enthält außer Eisen und Kohlenstoff im Allgemeinen mehrere Legierungselemente. Wegen der komplexen Wechselwirkungen zwischen den Legierungselementen und ihrer nicht additiven Wirkung lassen sich die eingetretenen Eigenschaftsänderungen daher nur in sehr allgemeiner Form angeben.

Legierungselemente werden dem Stahl in genauen Mengen zugesetzt, um bestimmte Eigenschaften zu erzeugen bzw. zu verbessern oder unerwünschte zu beseitigen oder zu mildern. Als legiert gelten Stahlsorten, wenn der Legierungsgehalt für wenigstens ein Element die Grenzwerte der Tabelle 4.10 erreicht oder überschreitet. Die unerwünschten Beimengungen (Verunreinigungen) wie z. B. Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel, Stickstoff und die für das Desoxidieren erforderlichen Elemente gelten danach nicht als Legierungselemente.

Tab. 4.10: Für die Abgrenzung der unlegierten von den legierten Stählen maßgebenden Gehalte der Legierungselemente nach DIN EN 10020

Legierungselement	Grenzgehalt in Massen-%
Aluminium	0,10
Blasut	0,10
Blei	0,40
Bor	0,0008
Chrom	0,30
Kobalt	0,30
Kupfer	0,40
Landlanolide (einzeln gewertet)	0,10
Mangan	1,65 <sup>1)</sup>
Molybdän	0,08
Nickel	0,30
Niob	0,05
Selen	0,10
Silicium	0,60
Tellur	0,10
Titan	0,05
Vanadium	0,10
Wolfram	0,30
Zirkonium	0,05
Sonstige (mit Ausnahme von Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel und Stickstoff) jeweils	0,10

<sup>1)</sup> Falls für Mangan nur ein Höchstwert festgelegt ist, ist der Grenzwert 1,80 % und die 70 %-Regel gilt nicht. Diese besagt, falls für die Elemente, außer Mangan, in der Brzengnis-norm oder Spezifikation nur ein Höchstwert für die Schnell-analyse festgelegt ist, ist ein Wert von 70 % dieses Höchst-wertes für die Einteilung zu verwenden.